

На рис. представлены относительные напряжения шин системы для трех расчетных случаев: исходная схема, схема при установке генерации 140 кВт на шину 11 и схема при установке генерации 280 кВт на шину 15.

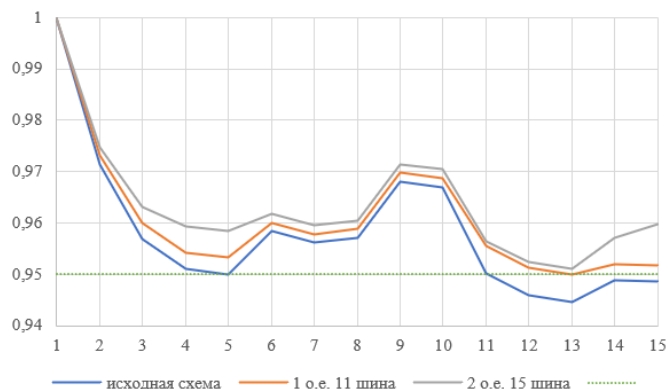


Рис. Уровень напряжения шин 15-узловой IEEE схемы

В соответствии с рис., установка объекта распределенной генерации оптимальной конфигурации способствует повышению относительного напряжения всех шин системы до требуемого уровня 0,95...1,05 о.е. номинального напряжения системы. Причем, чем больше размер устанавливаемого объекта (больше его мощность), тем больше величина данного влияния.

Таким образом, можно заключить, что ввиду наблюдаемого роста спроса на электроэнергию определяется необходимость проектирования новых вводов генерации, в том числе распределенной. Распределенная генерация, в свою очередь, при интегрировании в сеть оказывает влияние на ее режимные параметры. При условии определения оптимальной конфигурации данное влияние носит положительный характер, а также обеспечивает соответствие значений параметров требованиям отраслевых стандартов. В рамках данной оптимизационной задачи производится расчет перетоков и потерь мощности в системе посредством применения итерационного метода, для упрощения поиска глобального минимума контролируемого параметра осуществляется программная реализация того или иного оптимизационного алгоритма. Выполнена программная реализация итерационного метода на языке JavaScript для трех расчетных случаев: диапазон допустимых мощностей внедряемого объекта 0...0,6 о.е., 0...1 о.е. и 0...2 о.е. мощности нагрузки шины установки объекта, при этом мощность, генерируемая объектом, носит чисто активный характер. Полученные результаты подтверждают положительный характер влияния объекта распределенной генерации оптимальной конфигурации на режимные параметры энергосистемы.

Литература

1. Karunarathne, E. Optimal Placement and Sizing of DGs in Distribution Networks Using MLP SO Algorithm [Text] / E. Karunarathne, J. Pasupuleti, J. Ekanayake, and D. Almeida // *Energies*. – 2020. – V. 13. – P. 1-25.
2. Sudhakar, T.D. Modeling and Simulation of Distribution Network with the Integration of Distribution Generator using Matlab [Text] / T.D. Sudhakar, M.R. Rajan, K.N. Srinivas, R.R. Prabu, T.V. Narmadha, and M.M. Krishnan // *Indian Journal of Science and Technology*. – 2016. – V. 9(12). – P. 1-7.
3. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200104301>.
4. Отчет о функционировании ЕЭС России в 2020 году. СО «ЕЭС» России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://so-ups.ru/fileadmin/files/company/reports/disclosure/2021/ups_rep2020.pdf.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НАЛИЧИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРОСЕТИ НА ДЕЙСТВИЕ АВТОМАТИКИ ОГРАНИЧЕНИЯ СНИЖЕНИЯ ЧАСТОТЫ

Мицкевич Р.В., Рубан Н.Ю., Андреев М.В.

Научный руководитель - доцент Н.Ю. Рубан

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

В связи с развитием технологий все большее внимание уделяется вопросам внедрения возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Закономерно возникают проблемы обеспечения устойчивости энергосистемы ввиду невозможности получения постоянной мощности от объектов ВИЭ. Таким образом, задачи регулирования частоты сети и обеспечения баланса генерируемой и потребляемой мощности осложняются с увеличением проникновения объектов ВИЭ в энергосистему [4].

В силу высокой скорости протекания процессов снижения частоты при резком возникновении дефицита мощности, дежурный персонал не имеет возможности оперативно среагировать и принять надлежащие меры в первые моменты времени. Для предотвращения развития аварийных ситуаций в энергосистеме используются устройства автоматики регулирования перетоков активной мощности и ограничения снижения частоты [3].

Для оценки влияния объектов ВИЭ на действие автоматики ограничения снижения частоты, была разработана модель энергосистемы в программном комплексе Matlab Simulink. Модель включает в себя блоки эквивалентной тепловой электростанции (ТЭС), блок ветряной электростанции (ВЭС), блок шин условно бесконечной мощности (ШБМ) электроэнергетической системы, блоки трансформаторов и воздушных линий. Структурная схема модели энергосистемы представлена на рисунке 1.

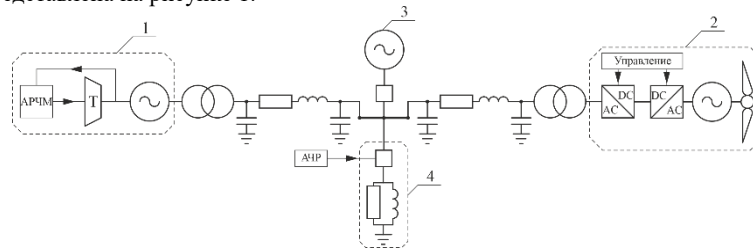


Рис. 1. Структурная схема модели энергосистемы:
1 – Блок модели ТЭС; 2 – Блок модели ВЭС; 3 – Блок модели ШБМ; 4 – Блок нагрузки

Блок ТЭС включает в себя модели паровой турбины К-500-240, турбогенератора ТВВ-500-2, тиристорной системы возбуждения и автоматики регулировки частоты и мощности турбины, для обеспечения первичного регулирования [1,2]. Блок ВЭС включает в себя модель эквивалентной ветряной электростанции, с задаваемым количеством и мощностью ветряных турбин, подключаемых в сеть через управляемые преобразователи на базе IGBT транзисторов [5].

Связь между электростанциями и энергосистемой осуществляется посредством блоков моделей повышающих трансформаторов и воздушных линий классом напряжения 220 кВ. Блок нагрузки представлен моделью параллельного шунта 500 МВт активной и 50 Мвар индуктивной мощности, $\cos(\varphi) = 0,995$.

Функции автоматики частотной разгрузки (АЧР) выполняет модель АЧР условно представленной 20 ступенями АЧР-1, 8 из которых заведены под частотное автоматическое повторное включение (ЧАПВ) и 5 ступенями АЧР-2. Модель АЧР обеспечивает ограничение мощности нагрузки при снижении частоты в диапазоне 49,2 – 46,5 Гц. После устранения дефицита мощности, дальнейший подъем частоты до стандартных значений 50,0±0,2 Гц, обеспечивается системами регулировки частоты и мощности турбин [1].

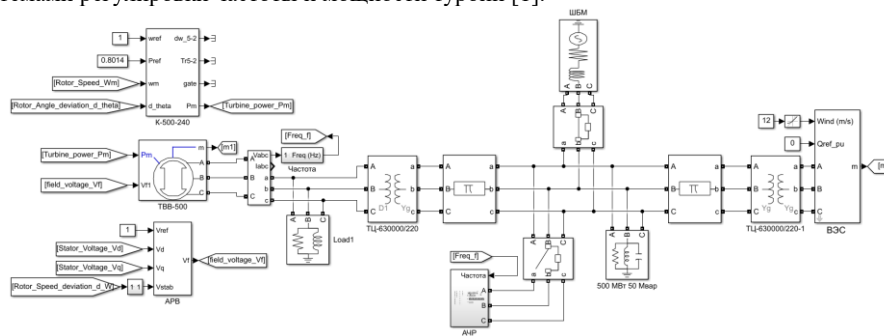


Рис. 2. Внешний вид модели энергосистемы

Исходными условиями моделирования действия АЧР был принят переход на изолированную работу дефицитного энергорайона, в результате работы делительной автоматики и отключения связи с ШБМ.

Для моделирования было принято условие дефицита активной мощности в объеме 100 МВт. При отключении связи с ШБМ частота в дефицитном энергорайоне резко снижалась, уменьшение скорости снижения частоты обеспечивалась работой АЧР-1, подъем частоты осуществлялся работой АЧР-2 и регуляторами электростанций. При достижении частоты сети заданного уровня срабатывали ступени ЧАПВ. Временная характеристика частоты сети представлена на рисунке 3.

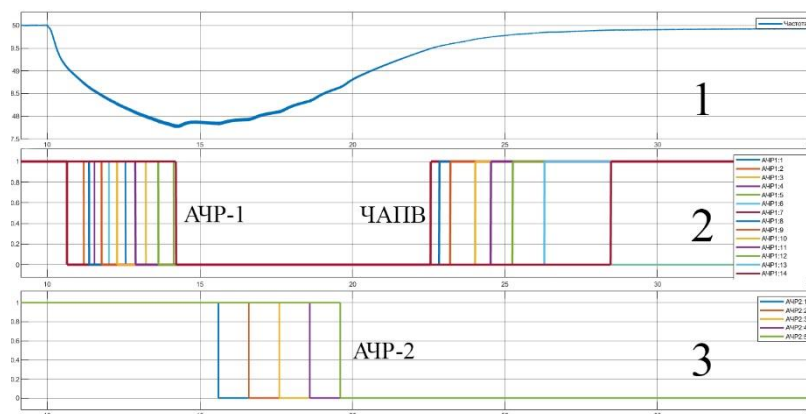


Рис. 3. Результаты моделирования работы автоматики при возникновении возмущающих воздействий в энергосистеме при мощности ВЭС 50 МВт
1 – частота сети, Гц; 2 – временная характеристика срабатывания ступеней АЧР-1 и АЧР-2;
2 – временная характеристика срабатывания ступеней АЧР-2

В результате проведенных опытов было смоделировано действие автоматики при условиях увеличения мощности ВЭС с 0% до 100% от мощности нагрузки, при уменьшении загруженности ТЭС и сохранении ее мощности в резерве, время восстановления частоты до номинальной сократилось, пропорционально увеличению мощности ВЭС. При этом, набор частоты во всех случаях осуществлялся путем увеличения мощности паровой турбины ТЭС. Мощность ВЭС корректировалась в малых диапазонах лишь для демпфирования возмущающих колебаний.

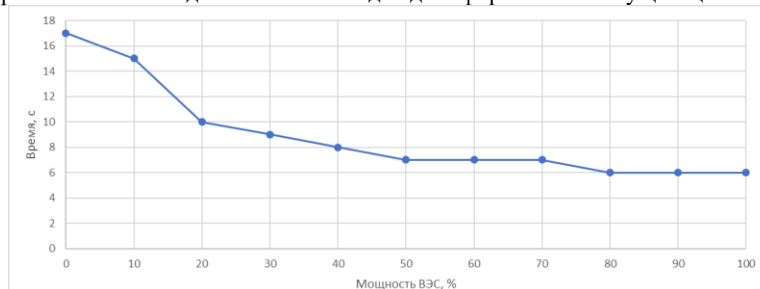


Рис. 4. График зависимости времени набора частоты от мощности ВЭС

Нижний предел снижения частоты не изменился, так как определялся настройкой АЧР, в зависимости от величины дефицита мощности и скорости снижения частоты, которые оставались постоянными во всех опытах.

Как показали результаты опытов моделирования, увеличение мощности ВЭС повышают маневренные качества энергосистемы, но лишь при сохранении достаточного резерва мощности традиционных источников электрической мощности, позволяющих производить корректировку частоты и мощности в необходимых пределах.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ, грант МК-5320.2021.4.

Литература

1. Калашников А.А. Динамика регулирования турбин. - М.: Энергоатомиздат, 1999. - 328 с.
2. Коган Ф.Л. Развитие конструкций, параметры и режимы мощных турбогенераторов: учебное пособие / Ф.Л. Коган. М. ИНФРА-М, 2019. –325 с.
3. Непша Ф.С., Глушкова А.И., Воробьева Д.Ю. К вопросу обеспечения правильной работы устройств автоматической частотной разгрузки в кузбасской энергосистеме. Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2017; 19 (9-10): 77-84. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2017-19-9-10-77-84>
4. Bevrani, H. and Ghosh, A. and Ledwich, G. 2010. Renewable energy sources and frequency regulation: Survey and new perspectives. IET Renewable Power Generation. 4 (5): pp. 438-457. 2010.
5. Marcelo G. M. Pedro E. M. Modelling and Control Design of Pitch-Controlled Variable Speed Wind Turbines. CONICET, Instituto de Energía Eléctrica, Universidad Nacional de San Juan Argentina. 2011.